12Cr13 热碱泵叶轮失效及影响因素研究

史艳华 1，叶青松 1，贺作宝 1,2，梁平 1，王玲 1

1)辽宁石油化工大学机械工程学院，抚顺 113001

2)中国石油抚顺石化公司，抚顺 113001

摘要：12Cr13 钢热碱泵使用短时间内发生严重变形失效，采用 SEM、EDS、XRD 等检测技术对失效后叶轮表面腐蚀形貌、腐蚀产物物相及组成进行分析，查找失效原因，采用正交实验对各因素的影响程度进行分析。研究发现：叶轮表面发生严重的冲刷腐蚀，腐蚀产物多孔疏松，分布有少量微裂纹，产物中除了可形成钝化膜的 Cr_2O_3 也含有 Fe、Mg、Zn 等的化合物，破坏了 Cr_2O_3 钝化膜的连续性和致密性，失去对基材的保护作用；大流速冲刷促进腐蚀产物的剥落，加剧局域性碱腐蚀；冲刷腐蚀造成叶轮明显减薄，降低强度，最终导致变形失效。各因素对 12Cr13 钢腐蚀速率影响从大到小的顺序为：流速、温度、时间、浓度。

关键词：12Cr13；碱腐蚀；失效；冲刷腐蚀；腐蚀产物

中图分类号　TG172.4　　文献标识码：A

Failure and influence Factorof of 12Cr13 Steel Alkali Pump Impeller in Hot Alkali

SHI Yanhua, YE Qingsong, HE Zuobao, LIANG Ping, WANG Ling

1） School of Mechanical Engineering of Liaoning Shihua University, Fushun 113001,China

2） Petrochina Fushun petrochemical company, Fushun 113001,China

Abstract: Abstract: Serious deformation failure often occurs for 12Cr13 steel heat alkali pump within a short time. We used SEM, EDS, XRD and other testing techniques to analyze the corrosion morphology, corrosion product phase and composition of the surface of the impeller after failure, trying to find out the reasons for the failure and analyze influence degree of each factor by orthogonal experiment. In this research it is found that serious erosion-corrosion occurred on impeller surface, and the corrosion product was porous and loose with a small amount of microcracks，also containing elements of Fe, Mg, Zn compounds in addition to Cr_2O_3 available to form passivation film, which destroyed the continuity and compactness of the Cr_2O_3 passivation film and led to losing the protective effect on substrate. It is also found that high velocity erosion promoted the spalling of the corrosion products and increased the local alkali corrosion. which caused impeller obviously thinner and reduced the strength as well as ultimately led to deformation failure. The factors affected on the corrosion rate of 12Cr13 steel from large to small are flow rate, temperature, time and concentration, successively.

Key words: 12Cr13; Alkali corrosion; Failure; Erosion-corrosion ; Corrosion products

中图分类号　TE986　　文献标识码：A

1. 前言

碱液在化工行业生产中具有广泛用途，如炼油厂利用碱液回收硫化氢生成硫氢化钠，消除酸性气体污染；乙烯装置碱洗塔利用碱液清除裂解气中的 CO_2 及 H_2S 等酸性成分；在污水处理中，可以通过碱液中和反应减小水的硬度[1-2]。然而碱液对设备及管线造成的腐蚀甚至泄漏，会影响生产安全、人身安全及导致环保事故的发生[3-5]，如 2012 年 Motiva 公司 Port Arthur 炼油厂常减压装置碱腐蚀事故及 Chevron 公司 Richmond 炼油厂常减压装置火灾事故等[6]，因此，碱腐蚀也是不能忽视的重大安全隐患。

一般情况下金属的碱腐蚀要比酸腐蚀轻，主要是因为在碱液中金属表面易于钝化或生成难溶的氢氧化物或氧化物。Fe 从 pH4-pH9 由于氧的去极化而发生腐蚀，在 pH10 以上发生

课题来源：辽宁省教育厅一般项目（L2013154）

作者简介：史艳华（1971-），女，博士，副教授，研究方向为材料电化学、腐蚀与防护技术、电镀及化学镀等。Tel：15040818431，E-mail：shiyanhua_2010@163.com。

钝化，大约在浓度为 45％NaOH 附近开始过钝化腐蚀，$Fe(OH)_2$ 膜转化为可溶性铁酸钠（Na_2FeO_2）[7]；而 Al、Zn、Sn 等两性金属易遭受显著的碱腐蚀；在 50%的 NaOH 溶液中，Mg 有微弱的腐蚀，温度高于 60℃，腐蚀速度大大加快。

抚顺某化工厂由液体汽车装卸站负责供给碱液，碱液浓度为 45%，管廊输送碱液管线材质为 12Cr13 钢，工艺操作压力 0.9MPa，工艺操作温度 60℃，间断式蒸汽伴热输送。2015 年 1 月份碱液卸车泵（叶轮为整体铸造，泵设计流速为 $50m^3/h$）叶轮出现变形，表面出现严重腐蚀现象。本文对失效叶轮开展实验研究，探索其失效原因，针对各影响因素进行正交实验，明确各因素影响的规律。

2 实验方法

采用 VEGA3 TESCAN 扫描电子显微镜(SEM)观察腐蚀形貌，采用 Bruker 能谱测试腐蚀产物成分。采用 7000X 射线衍射仪(XRD)对叶轮基材和腐蚀产物进行物相分析。采用 CJF-2L 型高温高压反应釜开展 $L_9(4)^3$ 正交实验，研究 12Cr13 钢在 NaOH 溶液中温度（80℃、130℃、170℃）、浓度（15%、30%、45%）、流速（0、200 和 500r/min）和时间（24、36 和 48h）等因素改变时的对腐蚀速度的影响权重及规律。

采用失重法计算腐蚀速度，公式如下：

$$V = \frac{W_0 - W_t}{St} \quad (1)$$

式中：V 为平均腐蚀速率，$g/m^2.h$；S 为试样表面积，m^2；t 为腐蚀时间，h；W_0 为试样腐蚀前质量，g；W_t 为试样腐蚀后质量，g。

3 叶轮失效分析

3.1 失效叶轮腐蚀形貌分析

失效后的 12Cr13 碱液泵叶轮如图 1 所示，叶轮边缘发生严重变形，宏观上没有发现明显断裂或裂纹出现，材料表面有明显锈迹和物料。

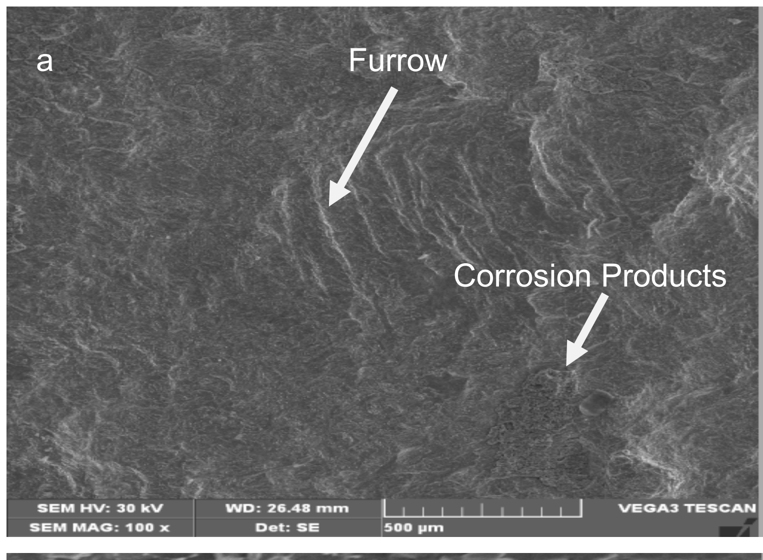


图 1 失效叶轮宏观腐蚀形貌

Fig.1 Macro corrosion morphology of failure impeller

从叶轮边缘切取试样，采用 VEGA3 TESCAN 扫描电镜对其腐蚀后的微观形貌进行观察，叶轮在热碱液作用下表面凹凸不平，腐蚀形态是多样的，如图 2 所示。图 2a 为低倍下腐蚀形貌，在低倍下观察到剜状腐蚀形态和具有明显方向性的冲蚀犁沟，主要是叶轮处于流

速较大及湍流形态造成的。部分尚未脱落的腐蚀产物附着在材料表面，呈多孔糜粥状形貌。



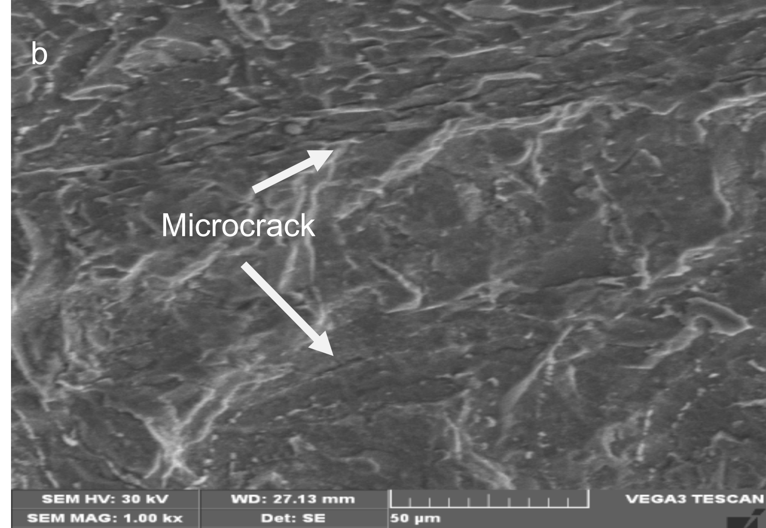


图 2 失效叶轮微观腐蚀形貌（a：低倍；b：高倍）

Fig.2 Micro corrosion morphology of failure impeller（a：high power　b：low times）

图 2b 为高倍放大后腐蚀形貌照片：进一步放大观察发现腐蚀犁沟处出现曲折细密的微裂纹，可见犁沟的出现不仅是冲刷单一造成的，也是微裂纹处热碱液进一步侵蚀的结果。

3.2 能谱分析

12Cr13 为马氏体耐热钢，其标准成分为：12Cr13 含碳 C≤0.15%，Si≤ 1.00%，Mn≤1.00%，Cr:11.50-13.50%，Ni≤0.60%。对切割下来的试样进行能谱分析，基材处成分见表 1。由表 1 结果可知，叶轮主要合金元素为 Fe、Cr、C 及少量 Mn，其中 C 含量分析误差较大，计算后 Fe 含量为 87.6%，Cr 含量为 12.24%，Mn 含量为 0.15%。与标准成分相当。

表 1 基材化学成分

Tab.1 Chemical composition of base material

Elements	*wt%*	*at%*
Fe	87.61	86.81
Cr	12.24	13.04
Mn	0.15	0.15

对腐蚀产物处成分进行分析，结果见表 2。由表 2 可见：该处 Fe、Cr 含量较高，同时